

부유백색연막통의 신뢰도 및 저장수명 연구

조성환*, 김원석, 이준혁
국방기술품질원 국방종합시험센터

A Study on the Reliability and Shelf-life of Floating HC smoke pot

Seonghwan Cho*, Wonseok Kim, Junhyuk Lee
Defense Firing Test Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 부유백색연막통 KM4A2에 관한 연구이다. 군이 상륙작전 시 부유백색연막통은 병력과 물자를 적으로부터 차장하는 수단이다. 연막이 한번 발생하면 연막통은 다시 사용할 수 없기에, 시험할 때까지 그 성능을 확인하는데 제한된다. 이러한 이유로, 연막통의 저장 시 신뢰도를 확인하기 위해 ASRP가 수행된다. 본 논문에서는 '07년에서 '21년까지 수행된 ASRP 데이터를 기반으로 품목의 경/중결점의 신뢰도 분석 및 회귀 분석을 통해 저장기간 및 신뢰도를 추정하였다. 먼저 결점을 분류하고 각각 결점에 대해 신뢰도를 분석하였다. 다음 단계로 연막방출시간과 점화지연시간의 변화 추이를 회귀분석하였다. 결론적으로 부유백색연막통은 11년부터 성능의 저하가 발생할 수 있으며, 신뢰도 기준 및 경향성에 따라 16~21년에 본격적인 성능이 저하된다. 회귀분석 결과 연막방출시간 기준 초과 및 점화지연시간의 기준 미달은 저장에 따른 영향이 적은 것을 확인하였다. 본 연구의 결과가 유사 품목의 후속 ASRP의 제반 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract This study examined a floating smoke pot, KM4A2. When the military conducted landing operations, a floating smoke pot was a means of concealing troops and supplies. Nevertheless, the performance of a floating smoke pot cannot be confirmed until it is tested because it cannot be used after the smoke screen is released. For this reason, ASRP (Ammunition Stockpile Reliability Program) was performed during the storage period to confirm the reliability of the floating smoke pot. This paper estimated the reliability and shelf-life of an item through reliability analysis and regression analysis of major defects and minor defects using ASRP data conducted from '07 to '21. First, the defects were classified, and reliability was analyzed for each defect. In the next step, a regression analysis was performed on the changes in smoke emission time and ignition delay time. In conclusion, the performance of the floating smoke pot may deteriorate from 11 years, and performance deteriorates in earnest from 16 to 21 years according to the reliability criteria and trends. Regression analysis confirmed that the smoke emission time standard exceeded the ignition delay time standard, which had little effect on the storage period. The result of this study can be used in ASRP of similar items.

Keywords : Floating Smoke Pot, Ammunition, ASRP, Reliability, Regression Analysis

1. 서론

연막통은 목적에 따라 지상 작전에 사용하는 지상형 연막통과 도하작전 및 상륙 작전 시 사용하는 부유연막

통으로 구분된다. 이 중 부유백색연막통(이하 연막통)는 지역, 병력의 기동 등을 적으로부터 도하 및 상륙 시 일시적으로 은폐 및 차장할 때 사용하는 탄약이다. 연막통은 원통형 용기에 소량의 연막제(HC: Hydro Chloro

*Corresponding Author : Seonghwan Cho(Defense Firing Test Center, Defense Agency for Technology and Quality)
email: choseonghwan@gmail.com

Received August 28, 2023

Revised September 19, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

ethane zinc mixture)가 충전되어 있으며, 연막제의 연소가 시작되면 생성된 압력으로 연막제 입자들은 연막통 방출구멍을 통하여 외부로 방출되어 농도가 진한 하얀 연막구름을 형성한다.

본 연구에서는 연막통의 제원과 국방기술품질원에서 수행하고 있는 군 장기 저장 탄약에 대한 신뢰성 평가인 ASRP[1-3]의 평가방법을 소개하고, 데이터 분석 시 활용된 신뢰도 및 신뢰수준, 불량률 추정, 회귀분석을 기술할 것이다. 이후 2009년부터 2021년까지 11회, 42개 로트를 평가한 ASRP 기능시험 데이터를 이용하여 결점 항목(불발)에 따라 신뢰도 분석을 수행하고 중요 계량수치인 점화지연시간과 연막방출시간의 저장 기간에 따른 변화 추이와 신뢰도 분석 결과를 살펴보고자 한다. 본 연구는 이전 연구[4-6]에서 정립된 “품목별 신뢰도 평가” 개념을 연막통에 적용하여, 신뢰도와 저장수명을 도출하고 이를 향후 ASRP 시 활용하고자 한다.

2. 제원 및 시험방법

2.1 제원 및 작동원리[7]

연막통은 원통용기의 형상에 연녹색으로 도색되며, 주요제원은 아래의 Table 1을 참고한다. 작동방식은 연막통 상부의 덮개를 제거한 후 체인 링(chain ring)을 당겨 안전핀을 제거한다. 안전핀이 제거된 연막통을 물속으로 던지면 연막통의 물 위를 부유하며 안전레버가 제거되는 시점에 타격기(striker)가 뇌관(primer)을 타격한다. 뇌관은 첫 번째 발화제를 점화시키고 차례로 지연제, 연소제가 점화된다. 이 과정에서 약 12 ~ 22 초간 지연 후 점화제는 충전된 HC 연막제를 연소시킨다. 연막제 입자는 빛을 반사하면서 공기 속으로 퍼져나가 진한 흰색의 연막구름을 생성한다.

Table 1. Specification of floating HC smoke pot

Category	Contents
Weight(kg)	Approx. □□.□ / □□.□(smoke agent)
Diameter(mm)	□□□
Length(mm)	□□□
Smoke agent	Hydro chloro ethane zinc mixture

2.2 시험 방법

장기 저장된 연막통에 대한 평가방법은 국방규격격의

시험방법에 따라 연막통의 한 개 로트 당 14발 시료를 샘플링하며 비기능시험 및 기능시험을 통해 이루어진다. 시험방법은 ASTP 1365-0001-2[8]에 규정된 방법으로 실시하였으며 세부 내용은 다음과 같다.

2.2.1 비기능시험

비기능시험은 탄약의 기능 외적인 요소에 대하여 내·외부 포장, 탄약의 상태를 확인하고 육안으로 검사하는 행위로, 평가 대상의 모든 시료에 대하여 국방부의 탄약 식별 기호인 DODIC(Department Of Defense identification Code), 모델번호 및 로트번호를 확인하고, 군에서 제공한 검사기록표, 탄약제원표의 내용과 비교한다. ASRP 시 비기능시험은 규정된 결점 발생여부 및 해당 결점이 실제 기능시험 시 어떻게 발휘되는지와 기능시험 시 안전에 위해지는 사항이 없는지를 주안점으로 두고 수행한다.

2.2.2 기능시험

기능시험은 비기능시험 시 안전에 이상이 없는 탄약을 대상으로 실제 대상 탄의 성능을 확인하는 시험으로 시료는 드럼견고성시험과 연소시험을 차례로 수행한다. 드럼견고성 시험은 국방규격의 요구조건에 따라 포장된 연막통을 단단한 표면으로부터 1.2 m의 높이에서 4회 낙하한다. 낙하 시 2회는 밑면으로, 2회는 윗면으로 떨어트려 파손 여부를 확인한다.

연소시험은 드럼견고성 시험 후 외부 덮개를 제거한 연막통으로 수행하며 안전핀을 제거한 후 연소통을 3 m 높이에서 깊이 1.8 m의 물 위로 투척하여 시험을 수행한다. 측정은 1/100초까지 측정 가능한 초시계를 사용하며, 불발, 점화지연시간, 연막방출시간을 계측한다.

3. 데이터 분석방법

3.1 신뢰도 및 신뢰수준

탄약은 일반적인 장비와 달리 일회 사용을 목적으로 설계된다. 그러므로 제조 및 납품 이후 지속적 사용되는 것이 아닌 탄약고에 장기간 저장되며, 필요 시 기능을 발휘하는 것이 요구된다. 따라서 탄약에서의 신뢰도란 사용 시점에서 기능을 발휘하는 확률로 표현할 수 있다. 특정 시점인 t 에서 시료 n 개 추출하여 시험을 수행하여 r 개의 불량률이 발생한다면 탄약의 신뢰도는 Eq.(1)과 같이

구할 수 있다[9,10].

$$\hat{R}(t_i) = 1 - \frac{r(t_i)}{n(t_i)} \quad (1)$$

Where, $R(t_i)$ = Reliability at time, t_i

r = number defective

n = sample size

이러한 탄약의 일회성 특성은 이항분포를 활용하여 나타낼 수 있다. 이항분포에서는 개별적인 시도가 두 가지의 결과 중 하나로 나타나는 베르누이 시도의 토대로, 시료 크기를 n , 기능을 발휘하지 못하는 상황 즉 불량률 r 로 발생하는 확률은 Eq.(2)와 같이 구할 수 있다.

$$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r} \quad (2)$$

Where, p = proportion defective

$R(r)$ = probability of getting exactly r defective or failed units in a sample size of n units

불량률(p)은 개별 로트들 중 가장 나쁜 품질을 허용할 수 있는 기준인 로트허용불량률(LTPD: Lot Tolerance Percent Defective)이다. 크기가 정해진 로트를 샘플링 검사하였을 때 허용할 수 있는 범위 불량률이며, 로트가 허용하는 불량률보다 낮은 불량률을 가지면 합격으로 판정한다. 시험에서 시료를 n 개로 하고 불량률이 k 이하인 실패확률을 계산하면 Eq. (3)과 같다. 또한, 신뢰수준 CL(Confidence Level)은 Eq.(4)로 정의할 수 있다.

$$P(r \leq k) = \sum_{r=0}^k P(r) \quad (3)$$

$$Confidence Level = CL = 1 - P(r \leq k) \quad (4)$$

3.2 불량률 추정

표본의 불량률을 활용해 모집단의 불량률을 추정하는 방법은 모집단 불량률의 상한, 하한값을 계산하여 추정한다. 불량률의 하한값(P_L)과 상한값(P_U)에 대한 계산은 Eq.(5, 6)와 같으며 F값은 통계 서적을 참고한다[11].

$$P_L = \frac{1}{1 + [(n-r+1)/r] F_L} \quad (5)$$

$$P_U = \frac{1}{1 + \frac{n-r}{r+1} \left(\frac{1}{F_U} \right)} \quad (6)$$

Eq.(5)의 F_L 은 P_L 을 계산할 때 두 개의 자유도 $v_1 = 2(n-r+1)$, $v_2 = 2r$ 에 대한 F분포 값이다. 마찬가지로 Eq.(6)의 F_U 는 P_U 를 계산할 때 두 개의 자유도 $v_1 = 2(r+1)$, $v_2 = 2(n-r)$ 에 대한 F분포 값이다. 본 연구에서는 신뢰수준 90%에서의 F분포값을 활용할 예정이다.

3.3 회귀분석

회귀분석은 독립변수(중속변수에 영향을 주는 변수)들과 종속변수 간의 함수관계를 규명하는 통계적인 분석방법이다. 본 분석에서는 저장기간을 독립변수, 점화지연 시간과 연막방출시간을 종속변수인 직선관계로 가정하고 단순회귀분석을 하였다.

회귀선에 대한 가설검정은 “ $F = \frac{MSR}{MSE}$ (검정통계량) $\geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ (기각역)이면 회귀모형이 유의하지 않다.”라는 귀무가설(H_0)을 기각하고 “회귀모형이 유의하다.”라는 대립가설(H_1)을 채택한다. MSR(회귀제곱합의 평균)은 SSR(회귀제곱합)을 자유도 1로 나눈 값이며, MSE(잔차제곱합의 평균)은 SSE(잔차제곱합)를 자유도 $n-2$ 로 나눈 값이다. $SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$, $SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 이고, y_i 실측값, \hat{y}_i 는 추정값, \bar{y} 는 실측값의 평균값이다[12].

4. 결과 분석

4.1 연막통 결점 신뢰도 분석

연막통의 각 결점별 분류는 다음 페이지의 Table 2와 같다. 해당 분류는 ASRP의 기준이 되는 저장탄약시험절차서(ASTP 1365-0001-2[8])에서 규정한다. 본 장에서는 결점을 중심으로 저장기간에 따른 신뢰도 분석을 수행하였다. 치명결점에는 연막통 폭발, 점화지연시간 3초 미만인 경우, 중결점은 불발(기능이 동작하지 않아 연막이 발생하지 않는 현상), 연막방출시간 600초(10분) 미만, 연막방출중단 시간 90초 이상인 경우, 경결점에는 점화지연시간 3초 이상에서 12초 미만과 22초 초과, 연막방출시간 900초(15분) 초과가 있다. 여기서 연막방출중단은 연막통이 연소하여 연막이 발생하는 도중 연막이 발생하지 않는 시간의 합이 전체 연소시간의 10% 이상인 경우를 말한다. 연막방출시간 미달은 연소제의 연소가 올바르게 일어나지 않거나, 물에 부유 시 연막통 결합에 의해 가라앉는 경우가 있다. 다만 연막방출시간 및 점화지연시간을 측정하였을 때 동일 시료에서 중복되어 발

생활 수 있다.

Table 2. Defect of floating HC smoke pot

Defect type	Contents
Critical	Floating smoke pot explosion
	Ignition delay time < 3 sec
Major	Misfire
	Smoke emission time < 600 sec
	Stop smoke emission time ≥ 90 sec
Minor	Ignition delay time : 3 ≤ t < 12 sec, t > 22 sec
	Smoke emission time > 900 sec

4.1.1 연막통 결점 신뢰도 분석

앞서 언급하였듯이 2009년 ~ 2021년까지 시험한 연막통의 ASRP 시험데이터를 활용하여, 결점을 중심으로 저장기간에 따른 신뢰도를 나타낸 것이 다음의 Table 3 이고, 이를 도식화한 것이 다음의 Fig. 1이다. Table 3 에서 음영 처리된 부분은 신뢰도가 80% 이하에 해당하는 부분이다. Fig. 1의 하한 신뢰도 80%는 이전 ASRP 관련 품목별 신뢰도 연구[4,5]를 참고하여 설정하였다. 여기서 활용한 결점은 중결점인 불발, 연막방출시간 미달과 경결점인 점화지연시간 및 연막방출시간 이탈을 활용하였다.

Table 3의 신뢰도(Reliability)는 점추정 신뢰도로 시험결과에 따라 결점을 제외하고 양호한 정도를 나타내는 개념이며, 90% Lower CL (90% 신뢰하한 신뢰수준)은 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하한값을, 90% Upper CL(90% 신뢰상한 신뢰수준)은 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 상한값을 나타낸다.

Table 3. Reliability for defect by storage period

Period (years)	Sample size	No. of defect	90% Lower CL(%)	Reliability (%)	90% Upper CL(%)
11	14	5	43.7	64.3	81.5
12	56	7	79.9	87.5	92.9
16	14	4	50.8	71.4	86.9
21	14	16	0.0	0.0	0.0
22	56	58	0.0	0.0	0.0
23	42	9	68.6	78.6	86.6
25	168	103	33.7	38.7	43.9
26	42	51	0.0	0.0	0.0
27	28	26	1.9	7.1	17.9
28	42	29	21.5	31.0	41.8
30	28	27	0.4	3.6	13.2
34	28	23	8.9	17.9	30.6
35	28	17	26.7	39.3	53.2
36	28	22	11.7	21.4	34.6
Total	588	397	30.0	32.5	35.1

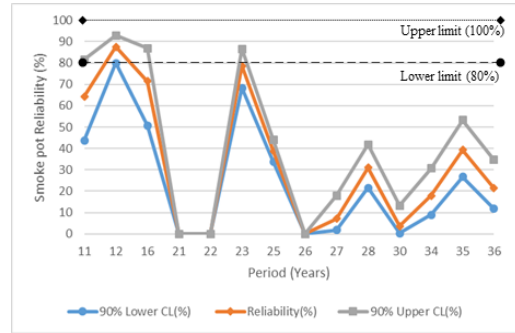


Fig. 1. Reliability for defect by storage period

Table 3를 살펴보면 전체 저장기간의 점추정 신뢰도는 32.5%이고, 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하한값은 30.0%, 상한값은 35.1%이다. 전체 점추정 신뢰도 32.5% 대비 전체 신뢰도보다 낮은 시점은 21년 ~ 22년, 26 ~ 34년, 36년이다. 신뢰도 80% 이하 구간을 살펴보면 점추정 신뢰도는 12년을 제외한 11년부터, 90% 신뢰상한 신뢰도는 23년을 제외한 21년부터, 90% 신뢰 하한 신뢰도는 11년부터 해당한다. 다음은 개별 결점들이 전체 신뢰도에서 얼마만큼 비중을 가지는지 확인하였다.

4.1.2 연막통 결점 분류별 신뢰도 분석

앞서 2009년부터 2021년까지 ASRP 기능시험 결점 데이터에서 치명결점은 발생하지 않았기에 중결점과 경결점을 분리하여 살펴보았다. 아래 Table 4와 Fig. 2는 중결점 데이터에 대한 신뢰도 및 90% 신뢰도 상·하한값을 나타낸 표로 계산방식은 전체 결점에 대한 데이터와 동일하다.

Table 4. Reliability for major defect by storage period

Period (years)	Sample size	No. of defect	90% Lower CL(%)	Reliability (%)	90% Upper CL(%)
11	14	3	58.3	78.6	91.9
12	56	5	84.1	91.1	95.6
16	14	-	84.8	100.0	100.0
21	14	4	50.8	71.4	86.9
22	56	13	68.0	76.8	84.1
23	42	-	94.7	100.0	100.0
25	168	57	61.0	66.1	70.9
26	42	19	43.7	54.8	65.4
27	28	15	33.1	46.4	60.1
28	42	24	32.3	42.9	53.9
30	28	20	17.4	28.6	42.2
34	28	2	82.1	92.9	98.1
35	28	2	82.1	92.9	98.1
36	28	1	86.8	96.4	99.6
Total	588	165	69.4	71.9	74.3

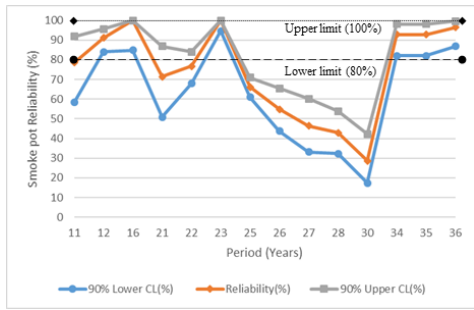


Fig. 2. Reliability for major defect by storage period

위의 Table 4를 살펴보면 전체 신뢰도는 71.9%이고, 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하한값은 69.4%, 상한값은 74.3%이다. 목표 신뢰도인 80% 기준으로 중결점만 살펴보았을 때가 모든 결점을 포함하였을 때보다 성능이 하향되는 추세가 더욱 뚜렷하지 못하다. 특정 기간(11년, 21~22년, 25~30년)에서만 성능 저하가 보인다.

중결점 항목 중 연막방출시간 600초 미만을 제외하고 다시 정리한 것이 다음의 Table 5와 Fig. 4이다. 저장기간 21~22년에만 연막방출시간 600초 미만이 발생하였는데, 이는 2009년 평가 중 연막통이 부유 중 구멍(hole)으로 인해 침수된 일반적이지 않은 사항으로 판단할 수 있다. 따라서 중결점만 살펴보았을 때 보수적으로 살펴보면 저장기간이 11년이 되는 시점에도 성능 저하가 발생할 수 있지만, 본격적으로 눈에 띄는 추세가 발현되는 시점은 25년으로 추정할 수 있다.

Table 5. Reliability for major defect(misfire, stop smoke) by storage period

Period (years)	Sample size	No. of defect	90% Lower CL(%)	Reliability (%)	90% Upper CL(%)
11	14	3	58.3	78.6	91.9
12	56	5	84.1	91.1	95.6
16	14	-	84.8	100.0	100.0
21	14	2	66.3	85.7	96.1
22	56	4	86.2	92.9	98.8
23	42	-	94.7	100.0	100.0
25	168	57	61.0	66.1	70.9
26	42	19	43.7	54.8	65.4
27	28	15	33.1	46.4	60.1
28	42	24	32.3	42.9	53.9
30	28	20	17.4	28.6	42.2
34	28	2	82.1	92.9	98.1
35	28	2	82.1	92.9	98.1
36	28	1	86.8	96.4	99.6
Total	588	154	71.3	73.8	76.2

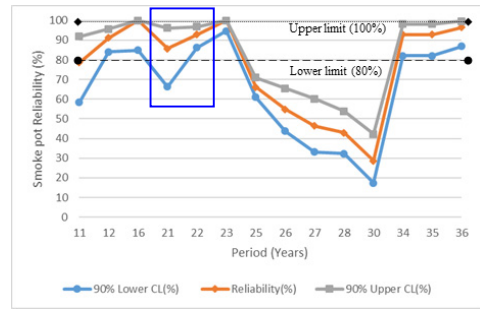


Fig. 3. Reliability for major defect(misfire, stop smoke) by storage period

전체 결점에 대한 데이터와 동일하게 계산한 경계점 데이터에 대한 신뢰도 및 90% 신뢰도 상·하한 신뢰도를 아래 Table 6와 Fig. 4로 나타내었다.

Table 6. Reliability for minor defect by storage period

Period (years)	Sample size	No. of defect	90% Lower CL(%)	Reliability (%)	90% Upper CL(%)
11	14	2	66.3	85.7	96.1
12	56	2	90.8	96.4	99.0
16	14	4	50.8	71.4	86.9
21	14	12	3.9	14.3	33.7
22	56	45	12.9	19.6	28.1
23	42	9	68.3	78.6	86.6
25	168	46	67.7	72.6	77.1
26	42	32	15.4	23.8	34.3
27	28	11	46.8	60.7	73.3
28	42	5	79.0	88.1	94.1
30	28	7	61.5	75.0	85.5
34	28	21	14.5	25.0	38.5
35	28	15	33.1	46.4	60.1
36	28	21	14.5	25.0	38.5
Total	588	232	57.9	60.5	63.2

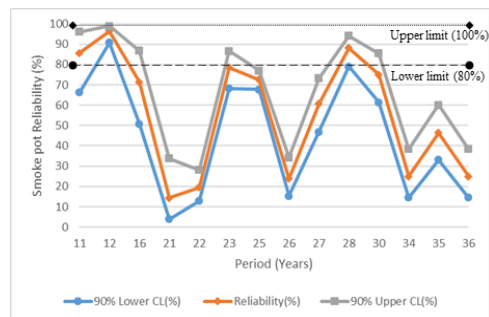


Fig. 4. Reliability for minor defect by storage period

위의 Table 6를 살펴보면 전체 신뢰도는 60.5%이고, 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하·상한값은 각각 57.9%, 63.2%이다. 목표 신뢰도인 80% 기준으로 경결점만 살펴보았을 때 모든 결점을 포함하였을 때와 같이 전반적으로 성능이 하향되는 추세가 더욱 뚜렷하다.

다음은 경결점 중 점화지연시간 이탈에 대한 결점만 포함하여 살펴본 것이 아래의 Table 7이다. 전체 신뢰도는 90.6%이고, 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하한값은 88.9%, 상한값은 92.2%이다. 해당 결점은 경결점에서 비중(23.7%)이 크지 않음을 알 수 있고, 저장기간에 따른 성능 저하도 나타나지 않아 특별한 경향을 확인하기 제한된다.

Table 7. Reliability for minor defect(ignition delay) by storage period

Period (years)	Sample size	No. of defect	90% Lower CL(%)	Reliability (%)	90% Upper CL(%)
11	14	0	84.8	100.0	100.0
12	56	0	96.0	100.0	100.0
16	14	0	84.8	100.0	100.0
21	14	5	43.7	64.3	81.5
22	56	4	86.2	92.9	96.8
23	42	0	94.7	100.0	100.0
25	168	20	84.2	88.1	91.2
26	42	16	50.8	61.9	72.1
27	28	1	86.8	96.4	99.6
28	42	0	94.7	100.0	100.0
30	28	5	69.4	82.1	91.1
34	28	0	92.1	100.0	100.0
35	28	1	86.8	96.4	99.6
36	28	3	77.7	89.3	96.0
Total	588	55	88.9	90.6	92.2

Table 8. Reliability for minor defect(smoke emission) by storage period

Period (years)	Sample size	No. of defect	90% Lower CL(%)	Reliability (%)	90% Upper CL(%)
11	14	2	66.3	85.7	96.1
12	56	2	90.8	96.4	99.0
16	14	4	50.8	71.4	86.9
21	14	7	30.5	50.0	69.5
22	56	41	19.1	26.8	35.8
23	42	9	68.3	78.6	86.6
25	168	26	80.3	84.5	88.1
26	42	16	50.8	61.9	72.1
27	28	10	50.4	64.3	76.5
28	42	5	79.0	88.1	94.1
30	28	2	82.1	92.9	98.1
34	28	21	14.5	25.0	38.5
35	28	14	36.5	50.0	63.5
36	28	18	23.5	35.7	49.6
Total	588	177	67.3	69.9	72.4

위의 Table 7은 경결점 중 연막방출시간 초과에 대한 결점만 포함하여 살펴보았다. 전체 신뢰도는 69.9%이고, 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하한값은 67.3%, 상한값은 72.4%이다. 경결점의 다수(76.3%)는 연막방출시간 초과로 전체 저장기간에 걸쳐 성능저하가 나타난다. 즉, 경결점에 해당하는 연막방출시간 초과가 점화지연시간 이탈에 비해 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다.

경결점만 살펴보았을 때 보수적으로 살펴보면 저장기간이 11년이 되는 시점에도 성능 저하가 발생할 수 있고, 본격적인 경향이 발생하는 시점은 신뢰도와 90% 신뢰수준에서 신뢰도 하한값 80% 이하로 나타나는 16년으로 추정할 수 있다.

4.2 점화지연 및 연막방출시간 변화 추이

ASRP 기능시험에서는 연막통의 점화지연시간 및 연막방출시간을 평가할 때 결점 기준을 이탈한 시료의 개수를 헤아려 판정하나, 본 연구에서는 변화 추이를 분석하기 위해 각 시료의 모든 값을 저장기간에 따라 분석하였다. 분석 시 개별 시료 데이터가 확보 가능한 시험 데이터를 활용하였으며 2010년 평가된 로트 중 해외지역에 불출되었던 1개 로트와 2011년 평가한 8개 로트는 불발률이 약 46%로 점화지연 및 연막방출시간 변화 추이에서 제외하고 분석하였다.

4.2.1 점화지연시간 변화 추이

Fig. 5는 저장기간에 따른 각 로트의 점화지연시간에 대한 산점도(Scatter plot)이다. 점화지연시간의 판정 기준은 22초를 초과하거나 3초 이상 12초 미만은 경결점이며, 3초 미만이면 치명결점이다. 저장기간 21년부터 22초(기준 상한선)를 넘는다. 따라서 점화지연시간은 변화추세를 살펴보았을 때 최초 납품상태 또는 저장환경에 따라 다를 수 있으나, 21년부터 일부 경결점이 발생할 수 있고 저장기간 36년까지는 치명결점이 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

위의 Table 9는 회귀분석 결과이며, 해당 회귀직선은 Fig. 5의 파란 선이다. Fig. 5의 회귀직선을 보면 점화지연시간은 저장기간이 경과할수록 증가하는 추세를 보인다. 회귀직선이 통계적으로 유의한지 검정해본 결과 검정통계량(4.617793)이 기각역(3.863074) 보다 크므로 "회귀직선이 통계적으로 유의하다."라는 대립가설(H_1)을 채택했다. 점화지연시간은 저장기간이 증가함에 따라 회귀직선의 추세를 이어간다는 가정해본다면, 경결점에

해당하는 구간인 22초를 벗어나는 시기는 약 53년 정도로 추정된다.

Table 9. Regression analysis result of ignition delay time

Category	Contents / Impact
Regression Equation	$y = 0.0925x + 17.059$
Rejection Area	3.863074
Test Statistic	4.617793
Test Result	H_1
Esti. of shelf-life	53

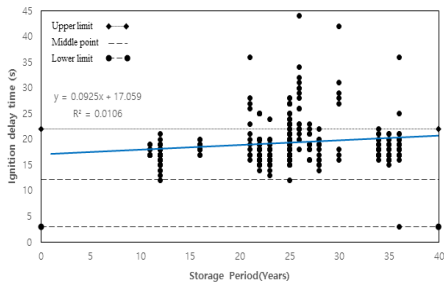


Fig. 5. Scatter plot of Ignition delay time with storage period

4.2.2 연막방출시간 변화 추이

아래의 Fig. 6는 저장기간에 따른 각 로트의 연막방출 시간에 대한 산점도이다. 연막방출시간의 판정 기준은 600초 미만이면 중결점이며, 900초 이상이면 경결점이다. Fig. 6를 살펴보면 모든 저장기간에 걸쳐 경결점이 고르게 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 연막방출시간은 저장기간 16년에 최초로 기준 상한선을 초과한다. 중결점은 22년부터 발생하여 이후에 간헐적으로 발생함을 확인할 수 있다.

아래의 Table 10은 회귀분석 결과이며, 해당 회귀직선은 Fig. 6의 파란 선이다. Fig. 6의 회귀직선을 보면 저장기간 경과에 따라 연막방출시간이 증가하는 추세를 보이는 것을 확인할 수 있다. 회귀직선이 통계적으로 유의한지 검정해본 결과 검정통계량(29.547515)이 기각역(3.863074) 보다 크므로 회귀직선이 유의하다는 대립가설(H_1)을 채택했다. 연막방출시간이 저장기간 경과에 따라 회귀직선의 추세를 이어간다는 가정하에 경결점 해당 구간인 900초를 벗어나는 시점은 약 29년 정도로 추정할 수 있다. 또한, 방출시간이 증가하는 추세이므로

600초 미만인 중결점은 최초의 탄 납품 상태 또는 저장 환경의 영향으로 추정해볼 수 있다.

Table 10. Regression analysis result of ignition delay time

Category	Contents / Impact
Regression Equation	$y = 4.9476x + 756.15$
Rejection Area	3.863074
Test Statistic	29.547515
Test Result	H_1
Esti. of shelf-life	29

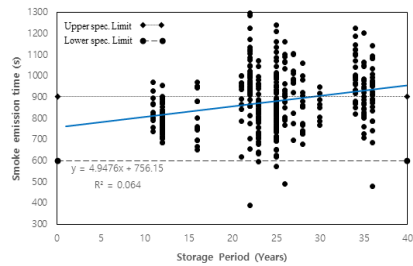


Fig. 6. Scatter plot of smoke emission time with storage period

5. 결론

본 논문은 부유백색연막통의 2009년부터 2021년까지의 ASRP 기능시험 결과 데이터를 활용하여 ASRP 시험절차서의 결점을 중심으로, 저장기간에 따른 신뢰도를 분석하였다. 신뢰도의 기준은 이전에 수행된 ASRP 관련 품목별 신뢰도 연구를 참조하여 설정하였다. 중요 계량치인 점화지연시간과 연막방출시간은 ASRP 기능시험 데이터는 활용하되 ASRP에서의 판정방법과 달리 각 시료의 모든 값을 저장기간에 따라 배치하여 변화 추이를 확인하고 회귀분석을 통해 저장수명을 추정하였다.

우선 전체 결점 신뢰도 분석을 하였을 때 90% 신뢰수준에서의 신뢰도 하한값이 80% 미만인 되는 시점은 저장기간 11년부터이고, 상한은 21년부터 도달한다. 중결점(21~22 연막통 구멍발생 제외)을 기준으로 살펴보았을 때는 전체 신뢰도가 71.9%로 목표 신뢰도 80% 기준 성능 저하는 11년 등 일부 연도에서 발생하나 경향성이 발현되는 시점인 25년부터로 추정된다. 경결점을 기준으로 분석하면 전체 신뢰도는 60.5%이다. 목표 신뢰도

80% 기준으로 90% 신뢰도 상·하한, 점추정에 따라 90% 신뢰 하한을 기준으로 11년부터 성능이 저하되는 것으로 추정되고, 점화지연시간 초과와, 연막방출시간 초과를 분리해서 살펴보면 전체 경결점 중 비중은 연막방출시간 초과가 76.3%로 많은 비중을 차지하며, 연막방출시간 초과 기준으로는 11년부터 발생할 수 있으나, 16년부터 경향을 나타내는 것을 확인했다. Fig. 7은 각 결점별 점추정 신뢰도를 정리하여 나타내었다.

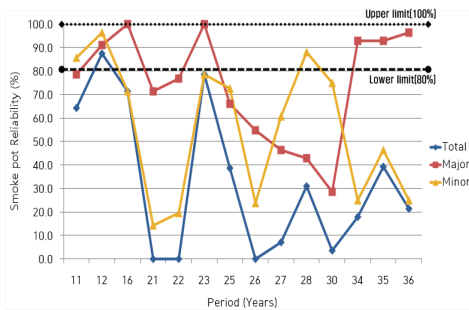


Fig. 7. Reliability for defect(Total, Major, Minor) by storage period

다음은 점화지연시간의 변화 추이를 분석하였을 때, 저장기간이 21년이 되는 시점에 일부 기준을 초과하는 이탈이 발생하였으나 저장기간 16년까지 기준 상한선(22초)을 초과하지 않으며, 회귀분석을 하였을 때 증가하는 추세를 보이고 22초를 초과하는 시점은 약 53년으로 추정할 수 있다.

연막방출시간의 변화 추이를 분석하였을 때, 저장기간이 11년이 되는 시점에 일부 기준을 초과하는 이탈이 발생하였으나 저장기간 16년에 기준 상한선(900초)을 초과하며, 26년부터 지속적으로 초과한다. 회귀분석을 하였을 때 900초를 초과하는 시점은 약 29년으로 추정된다. 또한, 증가하는 추세를 보이므로, 600초 미만(중결점) 발생 시료는 최초 납품 및 저장환경의 영향으로 추정할 수 있다.

따라서 부유백색연막통은 11년부터 성능저하가 일어날 수 있고, 신뢰도 기준 및 경향성에 따라 16~21년에 본격적으로 성능저하가 발현되는 것으로 추정된다. 특히 연막방출시간(중결점) 기준 초과 및 점화지연시간(치명결점)의 기준 미달은 회귀분석 시 저장에 따른 영향이 적다는 것을 확인하였다.

향후에는 점화지연시간 및 연막방출시간의 기준 상한선 미달과 연계하여 점화제, 지연제, 연막제에 대한 상관관계, 품질특성에 대해 살펴볼 필요가 있다. 또한, 지속

적인 ASRP 평가와 장기저장에 따른 탄약의 화공품 경시변화에 대한 연구[13-16]과 같이 다각도로 분석하여 발전된 신뢰도 및 수명예측을 할 필요가 있을 것으로 생각된다. 본 논문의 결과가 향후 부유백색연막통과 유사 품목까지 관련 연구에 기초 자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Y. S. Kim et al. "Introduction to Defense Quality management", Hyungseul Publishin Network, pp, 418, 2010.
- [2] J. W. Lee, "Ammunition Stockpile Reliability Program (ASRP) to know and understand", *Defense & Technology*, pp.102-107, 2010. 6.
- [3] S. W. Park, K. S. Yoon, H. D. Kwon, "An Empirical Study on the Financial Performance of Ammunition Stockpile Reliability Program upon the Defense Management", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, Issue.1, pp.266-273, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.266>
- [4] K. S. Yoon, J. C. Lee, "A Case Study on the Reliability Assessment of Stockpile Ammunition", *Journal of the Korea Society for Quality Management*, Vol.40, No.3, pp. 259-269, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2012.40.3.259>
- [5] J. C. Lee, J. H. Lee, H. S. Jung, "A Study on the shelf-life of IR screening smoke launcher grenade", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.4, pp.437-445, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.437>
- [6] J. C. Lee, J. H. Lee, H. S. Jung, "A Study on the estimation of shelf-life and assessment plan of illuminating cartridges for mortar", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.9, pp.291-300, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.291>
- [7] KDS 1365-1009, Korea Defense Standard, SMOKE POT KM4A2 FLOATING TYPE W/HC SMOKE, 2021.11.
- [8] ASTP 1365-0001-1, POT, SMOKE, FLOATING, HC, KM4A2, 2016.11.
- [9] H. G. Sim, "A Study on the reliability analysis of one-shot system", *Journal of the korea association of defense industry studies*, Vol.16, No.2, pp.105-116, 2009.
- [10] Ministry of Defence, Reliability and Maintainability (R&M) Assurance Activity Part 1 One-Shot Devices/ Systems, Defence Standard 00-42, Part 1, Issue 2, pp.1-23, 2008.
- [11] Edward R. Sherwin, "Analysis of "One-Shot" Devices", *Selected Topics in Assurance Related Technologies*,

Vol.7, No.4, pp.1-4, 2004.

- [12] K. S. Kim, J. A. Jung, J. K. Lee, "A Comparative Study of the Results of the Regression Analysis by Linear Programming," *Journal of the Korea Society for Quality management*, Vol.21, No.1, pp.161-170, 1993. 6.
- [13] I. H. Jang, J. H. Kim, W. C. Lee, S. J. Back, Y. K. Son, "A Study of Storage Life Estimation for Delay System in the Fuse of 81mm Illuminating Projectile", *Journal of the Korea Society for Quality management*, Vol.40, Issue.3, pp.270-277, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7463/JKSQM.2012.40.3.270>
- [14] B. H. Han, J. H. Ryu, J. H. Yang, J. Y. Oh, K. Gnanaprakash, J. I. Yoh, "Aging of Solid Fuels Composed of Zr and ZrNi Part 1: Thermal/Chemical/Spectroscopic Analysis", *Journal of the Korea Society for Propulsion Enginners*, Vol.24, No.2, pp.1-13, 2020.
DOI: <https://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2020.24.2.001>
- [15] B. H. Han, J. H. Ryu, J. H. Yang, J. Y. Oh, K. Gnanaprakash, J. I. Yoh, "Aging of Solid Fuels Composed of Zr and ZrNi Part 2: Kinetics Extraction for Full Simulation", *Journal of the Korea Society for Propulsion Enginners*, Vol.24, No.2, pp.14-27, 2020.
DOI: <https://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2020.24.2.014>
- [16] H. S. Kim, H. Y. Lim, Y. H. Kang, D. H. Kim, G. W. Lee, "A Study on the Change of burning Rate of Zirconium-Nickel Delay Elements Depending on the Ambient Temperature", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.7, pp.82-89, 2020.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.82>

조 성 환(Seonghwan Cho)

[정회원]



- 2018년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학 전공 (학사)
- 2017년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방종합시험센터 연구원

<관심분야>

컴퓨터비전, 방탄신뢰성평가, 저장신뢰성평가

김 원 석(Wonseok Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 금오공과대학교 기계공학 전공 (학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방종합시험센터 연구원

<관심분야>

품질경영, 기계공학, 신뢰성공학

이 준 혁(Junhyuk Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 전공 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방종합시험센터 연구원

<관심분야>

정보통신, 통계적 품질관리, 신뢰성평가